

(43) 国際公開日  
2007 年 10 月 11 日 (11.10.2007)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2007/114034 A1

- (51) 国際特許分類:  
B23B 29/12 (2006.01) B23B 1/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2007/055512
- (22) 国際出願日: 2007 年 3 月 19 日 (19.03.2007)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願2006-095793 2006 年 3 月 30 日 (30.03.2006) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): コニカミノルタオプト株式会社 (KONICA MINOLTA OPTO, INC.) [JP/JP]; 〒1928505 東京都八王子市石川町 2 9 7 0 番地 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 今井 利幸 (IMAI, Toshiyuki) [JP/JP]; 〒1928505 東京都八王子市石川町 2 9 7 0 番地 コニカミノルタオプト株式会社内 Tokyo

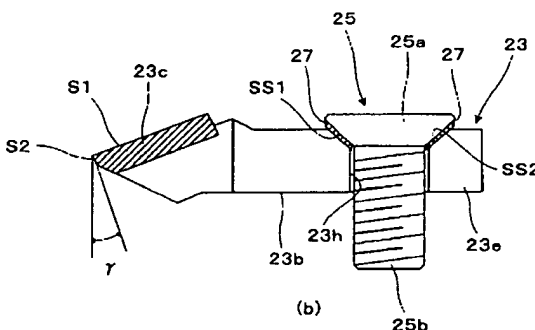
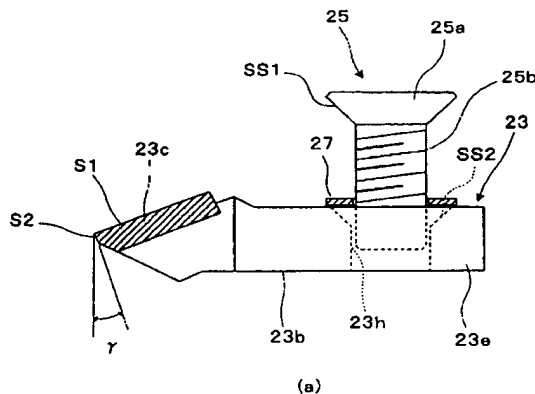
(JP). 高野 勲 (TAKANO, Isao) [JP/JP]; 〒1928505 東京都八王子市石川町 2 9 7 0 番地 コニカミノルタオプト株式会社内 Tokyo (JP).

- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK,

[続葉有]

(54) Title: CUTTING DEVICE, PROCESSING DEVICE, FORMING DIE, OPTICAL ELEMENT, AND CUTTING METHOD

(54) 発明の名称: 切削装置、加工装置、成形金型、光学素子及び切削方法



(57) Abstract: In a cutting tool (23), a shank (23b) is a support member made of ceramics and is hard to bend even though it is light in weight. Also, a processing chip (23c) is a diamond chip having a cutting edge and is fixed to the tip of the shank (23b) by the active metal method, brazing, etc. The shank (23b) is pressed and fixed by a fixing screw (25) and a washer (27) to the lower surface of a slit-like groove (21f) provided in a fixation section (21a). In this case, the washer (27) is an annular member deforming as a cushion member and prevents localized concentration of stress by fastening of the fixation screw (25).

(57) 要約: 切削工具 23 において、シャンク 23b は、セラミックスによって形成された支持部材であり、軽量でありながら撓みにくくなっている。また、加工用チップ 23c は、切れ刃を有するダイヤモンド製のチップであり、シャンク 23b の先端部に活性金属法、ろう付け等によって固定されている。シャンク 23b は、固定ネジ 25 及びワッシャ 27 によって、固定部 21a に設けたスリット状溝 21f の下面に押し付けるように固定される。この際、ワッシャ 27 は、緩衝部材として変形する環状部材であり、固定ネジ 25 による締め付けの応力が局所的に集中しないようにしている。



TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CL, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

## 明 細 書

切削装置、加工装置、成形金型、光学素子及び切削方法

技術分野

[0001] 本発明は、光学素子用の成形金型その他を形成する際に好適に用いられる切削装置及び加工装置、並びに、これを用いて作製される成形金型及び光学素子に関するものである。

背景技術

[0002] ダイヤモンド等の切削工具先端を振動させることで、難切削材料である超硬やガラス等の材料を切削加工する技術があり、振動切削と呼ばれている。これは、振動によって切削工具刃先が高速で微小切り込みを行い、かつ、この時に生成する切り屑を振動によって刃先が掬い出す効果によって、切削工具に対しても被削材料に対しても応力の少ない切削加工を実現するものである(例えば特許文献1、2、3、4等参照)。この振動切削加工により、通常の延性モード切削で必要とされる臨界切り込み量が数倍に向上し、難切削材料を高効率で切削加工することができる。

[0003] かかる振動切削加工において、加工効率を向上するには、振動周波数を高めれば上述した効果が増加し、さらに周波数にほぼ比例して工具の送り速度も高められるので、通常は20kHz以上の高速な振動が使われる。また、この周波数では人間の可聴域を超えているので、振動子やそれにより励振される振動体が不快な音を生じないという利点もある。

[0004] このような高速振動を切削工具刃先に発生させる方法として、ピエゾ素子や超磁歪素子等によって工具を保持する保持部材を励振し、この部材を撓み振動や軸方向振動等で共振させることにより、定在波として安定振動させることが実用化されている。

[0005] 以上の方法において、切削工具は、ダイヤモンド等で形成された切れ刃を有するチップを備え、このチップは、高速度鋼や超硬合金で形成されたシャンクにロウ付けされている。このような切削工具は、ボルト、ナット等の締結部材によって、シャンクを介して振動体としての支持体にネジ止めされている。

[0006] しかし、上記のような切削工具は、シャンクが高速度鋼や超硬合金で形成されているので重く、折角与えた振動について振幅の減衰が生じてしまう可能性がある。

[0007] ここで、切削工具のシャンクを軽量で丈夫なセラミックで形成することも考えられるが、セラミックは破壊靱性値が低く、十分な強度でシャンクをネジ締めしようとするときシャンクが破損する可能性がある。特に、シャンクに対するネジのあたり方が不均一であると、一カ所に応力が集中してシャンクが破損する可能性がある。

特許文献1: 特開2000-52101号公報

特許文献2: 特開2000-218401号公報

特許文献3: 特開平9-309001号公報

特許文献4: 特開2002-126901号公報

#### 発明の開示

[0008] そこで、本発明は、振幅の減衰を低減しつつ、シャンクを破損することなく確実に固定することができる切削装置、及び、これを組み込んだ加工装置を提供することを目的とする。

[0009] また、本発明は、上記切削装置を用いて高精度で作製される成形金型及び光学素子を提供することを目的とする。

[0010] 上記課題を解決するため、本発明に係る切削装置は、(a) 切れ刃を有するチップと、当該チップを保持するセラミック製のシャンクとを有する振動切削用の切削工具と、(b) 切削工具のシャンクを支持するとともに切削工具に対して振動を伝達するための支持体と、(c) 切削工具を支持体に締め付けて固定する締結部材と、(d) シャンクと締結部材のヘッド部との間に、シャンクの本体材料よりも硬度が小さく且つ締結部材の本体材料よりも硬度が小さい材料で形成された緩衝部材とを備える。

[0011] 本発明に係る加工装置は、(a) 上述の切削装置と、(b) 切削装置を動作させつつ変位させる駆動装置とを備える。本加工装置では、以上で説明した切削装置を駆動装置によって変位させるので、軽量かつ十分な強度で確実に固定された切削工具を備える切削装置によって高精度の加工を実現できる。

[0012] 本発明に係る成形金型は、上述の切削装置を用いて加工創製された、光学素子の光学面を成形するための転写光学面を有する。この場合、凹面その他の各種転写光

学面を有する金型を、高精度で加工することができる。

[0013] 本発明に係る光学素子は、上述の切削装置を用いて加工創製されている。この場合、凸面その他の各種光学面を有する高精度の光学素子を直接的に得ることができる。

[0014] 本発明に係る切削方法は、上述の切削装置に振動を与えて切削する切削方法である。

#### 図面の簡単な説明

[0015] [図1](a)、(b)、(c)は、第1実施形態の振動切削ユニットの平面図、側面図、及び端面図である。

[図2]振動体組立体の平面図である。

[図3](a)、(b)は、フランジ部の形状を説明する側面図及び端面図である。

[図4](a)、(b)は、切削工具の構造及び固定方法を説明する拡大側面図及び拡大断面図である。

[図5]図4に示す切削工具の固定方法の変形例を説明する拡大断面図である。

[図6]図4に示す切削工具の固定方法の変形例を説明する拡大断面図である。

[図7]図4に示す切削工具の固定方法の変形例を説明する拡大断面図である。

[図8]図4に示す切削工具の固定方法の変形例を説明する拡大断面図である。

[図9]図4に示す切削工具の固定方法の変形例を説明する拡大断面図である。

[図10]第2実施形態の加工装置を説明するブロック図である。

[図11]図10に示す加工装置を用いたワークの加工を説明する拡大平面図である。

[図12](a)、(b)は、第3実施形態に係る成形用金型の側方断面図である。

[図13]図12の成形用金型によって形成されたレンズの側方断面図である。

#### 発明を実施するための最良の形態

[0016] 上記切削装置においては、シャンクの被押圧部と締結部材の押圧部との間に配置される緩衝部材が、セラミック製のシャンクの本体材料と締結部材の本体材料との双方よりも硬度の小さい材料を含んで形成されるので、締結部材によって破壊靱性値が比較的低いセラミック製のシャンクを支持体の所定位置に十分な強度で締め付けて確実に固定することができる。この際、緩衝部材が変形等してシャンクに局所的な

応力が加わることを防止できるので、シャンクが割れる可能性を低減でき、切削工具の寿命を長くすることができる。つまり、締結部材の押圧部とシャンクの被押圧部とのそれぞれの表面にある微小な凹凸に沿うように、その間に入った緩衝部材が変形し、締結部材と緩衝部材、或いはシャンクと緩衝部材の接触面積が増加し切削工具を強固に固定することができる。

- [0017] 本発明の具体的な態様では、上記切削装置において、締結部材が、雄ネジ状の螺合部材であり、緩衝部材が、ワッシャ状(板状)の環状部材である。この場合、雄ネジを支持体にねじ込むようにしてシャンクを固定することができ、押圧部である螺合部材のヘッド部の下面(締め付け側の座)と、被押圧部であるシャンクに設けた開口周辺(締め付けられる側の座)との間に緩衝部材を簡易に挟むことができる。
- [0018] 本発明の別の態様では、緩衝部材が、締結部材の押圧部の形状に対応した形状をあらかじめ形成されている。この場合、緩衝部材が大きく変形することなく被押圧部と押圧部との間に保持された状態になる。
- [0019] 本発明のさらに別の態様では、緩衝部材が、締結部材の押圧部の形状に対応する形状に変形可能である。この場合、緩衝部材が変形して被押圧部と押圧部との間に保持された状態になる。
- [0020] 本発明のさらに別の態様では、緩衝部材が、表面において軟金属を含む材料で形成されている。この場合、緩衝部材が低応力で変形し易く、被押圧部と押圧部とに密着し易くなるので、シャンクを支持体に強固に固定することができる。
- [0021] 本発明のさらに別の態様では、締結部材の本体材料の硬度が、支持体の硬度に比較して小さい。この場合、締結部材は、支持体よりも相対的に硬度が小さく、支持体に傷、変形その他のダメージを与えにくいので、締結部材の再利用をある程度確保しつつも支持体の寿命をさらに延ばすことができる。
- [0022] 本発明のさらに別の態様では、緩衝部材を構成する軟金属が、Al、Cu、Pb、Ti、Sn、Zn、Ag、Au、及びNiからなる群から選択される少なくとも1つの元素を含む。
- [0023] 本発明のさらに別の態様では、緩衝部材が、HV200以下のビッカース硬度を有している。
- [0024] 本発明のさらに別の態様では、緩衝部材が、締結部材のヘッド部上あるいはシャン

ク上のコーティング層である。

[0025] 本発明のさらに別の態様では、支持体が、切削工具に対して撓み振動と軸方向振動とを伝達するための振動体本体を構成する。この場合、切削工具に対して撓み振動と軸方向振動とを付与することができ、切削工具を多様に振動させる振動切削が可能になる。

[0026] 本発明のさらに別の態様では、振動体本体に振動を与えることによって当該振動体本体を介して切削工具を振動させる振動源をさらに備える。この場合、振動源に電力等を供給することで振動体本体に必要な振動を生じさせることができる。

[0027] 〔第1実施形態〕

以下、本発明の第1実施形態に係る切削装置を図面を用いて説明する。図1(a)は、光学面や転写光学面を作製するための切削装置である振動切削ユニットの構造を説明する平面図であり、図1(b)は、振動切削ユニットの側面図であり、図1(c)は、振動切削ユニットの端面図である。また、図2は、図1の振動切削ユニットに組み込まれている振動体組立体の平面図である。

[0028] 図1(a)～1(c)に示すように、振動切削ユニット20は、レンズ等の光学素子の光学面や、このような光学面を成形するための成形金型の転写光学面等を切削加工によって創製するためのツールである。この振動切削ユニット20は、切削工具23と、切削用振動体82と、軸方向振動子83と、撓み振動子84と、カウンタバランス85と、ケース部材86とを備える。なお、切削用振動体82のほか、軸方向振動子83、撓み振動子84、及びカウンタバランス85を含めた一組の部分は、振動体組立体120を構成するが、この振動体組立体120は、外部からの駆動を受けて所期の状態で振動する集積型の切削用振動体と見ることができる。

[0029] ここで、切削工具23は、振動切削ユニット20の切削用振動体82の先端側であるツール部21先端の固定部21aに埋め込むように固定されている。つまり、切削用振動体82或いは固定部21aは、切削工具23を振動可能に支持するための支持体となっている。切削工具23は、後に詳述するが、先端23aがダイヤモンドチップの切刃になっており、共振状態とされた切削用振動体82の開放端として切削用振動体82とともに振動する。つまり、切削工具23は、切削用振動体82の軸方向振動に伴ってZ方向

に変位する振動を生じ、切削用振動体82の撓み振動に伴ってY軸方向に変位する振動を生じる。結果的に、切削工具23の先端23aは、楕円軌道EOを描いて高速変位する。なお、図2では、分かりやすいようにXZ面にわずかに広がるように楕円軌道EOを描いているが、先端23aが描く実際の楕円軌道EOは、YZ面に平行な面内に沿って存在する。

- [0030] 切削用振動体82は、線膨張係数の絶対値が $2 \times 10^{-6}$ 以下の低線膨張材料によって一体的に形成された切削用振動体であり、具体的には、インバー材、スーパーインバー材、ステンレスインバー材等が好適に用いられる。なお、切削用振動体82の材料としては、 $6 \times 10^{-6}$ 程度の比較的大きな線膨張係数となるが、超硬を用いることもできる。さらに、あまり加工精度が要求されない用途では、切削用振動体82を鉄、焼き入れ鋼、ステンレス、アルミニウム等で形成することもできる。
- [0031] 切削用振動体82の材料として好適なインバー材とは、FeとNiとを含む合金であって、36原子%のNiを含む鉄合金であるが、通常線膨張係数が室温で $1 \times 10^{-6}$ 以下である。ヤング率は、鋼材の約半分と低いが、これを切削用振動体82の材料に用いることで、切削用振動体82の熱膨縮が抑制され、先端に保持される切削工具23の刃先位置の温度ドリフトを抑制できる。
- [0032] また、スーパーインバー材とは、FeとNiとCoとを少なくとも含む合金であって、5原子%以上のNiと、5原子%以上のCoとをそれぞれ含む鉄合金であり、線膨張係数が室温で通常 $0.4 \times 10^{-6}$ 程度と、前述のインバーよりもさらに熱膨縮しにくい材料である。ヤング率は、鋼材の約半分と低いが、これを切削用振動体82の材料に用いることで、切削用振動体82の熱膨縮が抑制され、先端に保持される切削工具23の刃先位置の温度ドリフトを抑制できる。
- [0033] また、ステンレスインバー材とは、50原子%以上となる主成分がFeであって、5原子%以上を含む付随的材料がCoと、Crと、Niとの少なくとも1つである合金材料全てを指す。したがって、ここではコバール材もこのステンレスインバー材に含まれる。ステンレスインバー材は、通常線膨張係数が室温で $1.3 \times 10^{-6}$ 以下である。なお、コバール材は、線膨張係数が室温で $5 \times 10^{-6}$ 以下である。ステンレスインバー材のヤング率は、鋼材の約半分と低いが、これを切削用振動体82の材料に用いることで、切



削用振動体82の熱膨縮が抑制され、先端に保持される切削工具23の刃先位置の温度ドリフトを抑制できる。さらに、ステンレスインバー材は、インバー材よりも水分に対する耐性がずっと高く、加工冷却液等がかかっても錆びが発生しないという優れた特徴があるので、切削工具23を保持固定する構造材料として適している。

[0034] 切削用振動体82は、切削工具23に振動を伝達する軸状の振動体本体82aと、振動体本体82aを支持する保持部材82b, 82cと、保持部材82b, 82cの先端側に形成されたフランジ部82eとを備える。このうち、振動体本体82aは、Z軸方向をそれ自身の軸方向とする部材である。この振動体本体82aは、図示の場合、節部分NP1(図2参照)の近傍で直径が変化する2段の円柱状の外形を有するが、所期の振動状態を確保し得るものであることを前提として、例えば四角形その他の多角形や楕円等の断面を有するものに置き換えることができる。振動体本体82aの側壁から±X方向に延びる2つの保持部材82b, 82cは、振動体本体82aをその動作を妨げないように節部分NP1で支持する。図示の場合、両保持部材82b, 82cは、それぞれ円柱状の外形を有するが、例えば四角柱その他の多角柱や楕円柱等の外形を有するものに置き換えることができる。各保持部材82b, 82cの根元側は、節部分NP1に一体的に固定されており、各保持部材82b, 82cの先端側は、これに直交して延在する四角形のフランジ部82eを支持する。より詳細に説明すると、両保持部材82b, 82cは、振動体本体82aの節部分NP1をX方向に関して互いに対向する側面位置で支持しており、両保持部材82b, 82cの先端側に設けた各フランジ部82eの端面は、ケース部材86の内面に当接してケース部材86にしっかりと固定される。

[0035] 以上のようにケース部材86中に支持された切削用振動体82は、後述する軸方向振動子83によって振動し、Z方向に局所的に変位する定在波が形成されている共振状態となる。また、切削用振動体82は、撓み振動子84によっても振動し、Y軸方向に局所的に変位する定在波が形成されている共振状態となる。ここで、保持部材82b, 82cの根元側を固定した節部分NP1は、切削用振動体82にとって軸方向振動と撓み振動とに共通の節となっており、保持部材82b, 82cによって軸方向振動や撓み振動が妨げられることを防止できる。

[0036] なお、切削用振動体82において、保持部材82b, 82c及びフランジ部82eと、振動

体本体82aとは、一体的に形成されている。つまり、切削用振動体82は、つなぎ目なく一体的に形成されたものである。切削用振動体82は、例えば塊状の材料すなわち棒材の切削によって形成される。これにより、切削用振動体82を目的の状態で振動させることができ、その強度を十分に高くすることができ、その保持剛性を極めて高くすることができる。なお、切削用振動体82は、鋳造によって一体的に形成することもできる。さらに、切削用振動体82は、振動体本体82a側面に保持部材82b、82cの根元側を溶接によって固定したものとすることもできる。

[0037] 軸方向振動子83は、 piezo素子(PZT)や超磁歪素子等で形成され切削用振動体82の根元側端面に接続される振動源であり、図示を省略するコネクタ、ケーブル等を介して振動子駆動装置(後述)に接続されている。軸方向振動子83は、振動子駆動装置からの駆動信号に基づいて動作し高周波で伸縮振動することによって切削用振動体82にZ方向の縦波を与える。

[0038] 撓み振動子84は、 piezo素子や超磁歪素子等で形成され切削用振動体82の根元側側面に接続される振動源であり、図示を省略するコネクタ、ケーブル等を介して振動子駆動装置(後述)に接続されている。撓み振動子84は、振動子駆動装置からの駆動信号に基づいて動作し、高周波で振動することによって切削用振動体82に横波すなわち図示の例ではY方向或いはYZ面内の振動を与える。

[0039] カウンタバランス85は、軸方向振動子83を挟んで切削用振動体82の反対側に固定される。このカウンタバランス85は、切削用振動体82と同一の材料によって一体的に形成された切削用振動体であり、具体的には、インバー材、スーパーインバー材、ステンレスインバー材等の低線膨張材料が好適に用いられる。なお、カウンタバランス85の材料としては、あまり加工精度が要求されない場合、超硬、鉄、焼き入れ鋼、ステンレス、アルミニウム等を用いることもできる。

[0040] カウンタバランス85は、軸方向振動子83の一端に同軸で固定された円柱状の振動体本体85aと、振動体本体85aの節部分NP2を支持する保持部材85b、85cと、保持部材85b、85cの先端側に形成されたフランジ部85eとを備える。振動体本体85aの側壁から±X方向に延びる2つの保持部材85b、85cは、図示の場合、それぞれ円柱状の外形を有するが、例えば四角柱その他の多角柱や楕円柱等の外形を有

するものに置き換えることができる。各保持部材85b, 85cの根元側は、節部分NP2と一体的に形成されており、各保持部材85b, 85cの先端側は、これに直交して延在する四角形のフランジ部85eを支持する。つまり、両保持部材85b, 85cは、振動体本体85aの節部分NP2をX方向に関して互いに対向する側面位置で支持しており、両保持部材85b, 85cの先端側に設けた各フランジ部85eの端面は、ケース部材86の内面に当接した状態で、ボルトネジ91によってケース部材86にしっかりと固定されている。

[0041] 以上のようにケース部材86中に切削用振動体82とともに支持されたカウンタバランス85は、軸方向振動子83によって振動し、Z方向に局所的に変位する定在波が形成されている共振状態となる。ここで、保持部材85b, 85cの根元側を固定した節部分NP2は、カウンタバランス85にとって軸方向振動と撓み振動とに共通の節となっており、保持部材85b, 85cによって軸方向振動や撓み振動が妨げられることを防止できる。

[0042] なお、カウンタバランス85において、保持部材85b, 85c及びフランジ部85eと、振動体本体85aとは、一体的に形成されている。つまり、カウンタバランス85は、切削用振動体82と同様につなぎ目なく一体的に形成されたものである。カウンタバランス85は、例えば塊状の材料すなわち棒材の切削によって形成される。これにより、カウンタバランス85を目的の状態で振動させることができ、その強度を十分に高くすることができ、その保持剛性を極めて高くすることができる。カウンタバランス85は、鑄造によって一体的に形成することもできる。さらに、カウンタバランス85は、振動体本体85a側面に保持部材85b, 85cの根元側を溶接によって固定したものとすることもできる。

[0043] ケース部材86は、切削用振動体82やカウンタバランス85からなる振動体組立体120を内部に支持・固定する部分である。ケース部材86は、振動切削ユニット20を駆動するための加工装置(後述)に対して振動切削ユニット20を固定するためのものである。このため、ケース部材86の底部86bには、加工装置に固定するための孔THが適所に形成されている。また、底部86bと一体的に形成された一对の側壁部86aにも、切削用振動体82やカウンタバランス85から延びるフランジ部82c, 85cを固定する

ための孔THが適所に形成されている。これらの孔THを形成した部分は、切削用振動体82やカウンタバランス85を支持するための支持部SPとなっている。ケース部材86の側壁部86aや底部86bは、例えば切削用振動体82と同一の材料(好適には低線膨張材料)で形成することができる。側壁部86a及び底部86bを一体化した本体部分は、例えば塊状の材料すなわち棒材の切削によって形成され、鑄造によって一体的に形成することもでき、複数の板材を溶接することによっても形成することができる。

[0044] ケース部材86の一方の端面には、後部端板86fが気密に固定されており、ケース部材86の他方の端面には、前部端板86gが気密に固定されており、ケース部材86上部には、天板86hが気密に固定されている。後部端板86fには、給気パイプ96に連結される開口H1が形成されており、振動子83、84から延びるコネクタ、ケーブル等を通す開口H2も形成されている。開口H1に接続された給気パイプ96は、ガス供給装置(後述)に連結されており、所望の流量及び温度に設定された加圧乾燥空気が供給される。一方、前部端板86gには、振動切削ユニット20のツール部21を通すための開口H3が形成されている。

[0045] 以上の振動切削ユニット20において、切削用振動体82と、軸方向振動子83と、カウンタバランス85とは、例えばロウ付けによって接合・固定されており、軸方向振動子83の効率的な振動が可能になっている。

[0046] また、切削用振動体82と、軸方向振動子83と、カウンタバランス85との軸心には、これらの接合面を横切るようにこれらを貫通する貫通孔95が形成されており、給気パイプ96からの加圧乾燥空気が流通する。つまり、貫通孔95は、加圧乾燥空気を送り出す供給路であり、不図示のガス供給装置や給気パイプ96とともに、振動切削ユニット20を内部から冷却するための冷却手段を構成する。貫通孔95の先端部は、切削工具23を差し込んで固定するためのスリット状溝に連通しており、貫通孔95に導入された加圧乾燥空気を切削工具23の周辺に供給できるようになっている。また、貫通孔95の先端は、切削工具23を固定した場合にも隙間を残しており、切削工具23に隣接して形成された開口95aからは、加圧乾燥空気が高速で噴射され、切削工具23先端の加工点を効率良く冷却することができるだけでなく、加工点やその周囲に

付着する切り屑を気流によって確実に除去することができる。なお、給気パイプ96からケース部材86に導かれた加圧乾燥空気の一部は、振動体組立体120の周囲を通過しつつ振動体組立体120を外側から冷却して、開口H3の隙間からケース部材86外部に吐出される。

[0047] 図3(a)及び3(b)は、図1に示すツール部21先端の側方断面図及び平面断面図である。

[0048] 図からも明らかなように、ツール部21先端に設けた固定部21aは、側面視において四角形状で平面視において三角形状のクサビ形状を有している。また、固定部21aに保持された切削工具23は、平面視において先端が三角で全体が板状のシャンク23bと、シャンク23bの先端部に固定された加工用チップ23cとを備える。切削工具23自体は、固定部21aの端面21dに埋め込むようにして固定されており、加工用チップ23cの先端23aは、工具軸AXの延長上に配置されている。また、加工用チップ23cやこれを支持するシャンク23bは、固定部21aのクサビ側面(左右側面)を延長した開き角 $\theta$ のクサビ状空間内に収まっている。ここで、固定部21aの開き角 $\theta$ は、例えば $20^{\circ} \sim 90^{\circ}$ の範囲で選択され、加工目的の形状に合わせて特開2005-305555号公報に記載されたような、先端形状を半円、剣先等に適宜変更することもできる。

[0049] 切削工具23すなわちシャンク23bの根元部分23eは、固定部21aの端面21dから工具軸AXに沿ってXZ面内で刻設された矩形断面のスリット状溝21f内に嵌合する状態で挿入されており、ツール部21の材料と同一の材料等で形成された2つの固定ネジ25、26によって、固定部21aに対して着脱可能にしっかりと固定されている。具体的には、固定部21aの上下側面間を貫通する固定穴21g、21hに固定ネジ25、26を順次ねじ込んで固定する。これらの固定穴21g、21hは、Y軸方向に延びており、両者の締付け方向は、工具軸AXに直交する。両固定穴21g、21hは、内径が異なっており、固定穴21gの内径の方が固定穴21hの内径よりも大きくなっている。両固定穴21g、21hは、両固定ネジ25、26のネジ付けによって充填される。つまり、固定穴21g、21hの位置には、深い凹部が残ったり高い凸部が形成されないようにしている。

- [0050] 固定穴21hにねじ込まれる一方の固定ネジ25は、切削工具23を固定するための締結部材であり、雄ネジ部25bとヘッド部25aを含むトルクスネジである。雄ネジ部25bを不図示のワッシャを介して固定穴21gに差し込んだ状態で、雄ネジ部25bのヘッド部25aを適当な工具でネジ回すことにより、雄ネジ部25bが、根元部分23eに形成された開口23hを貫通して、固定穴21gの奥に形成された固定穴21h内面の雌ネジと螺合する。この際、切削工具23の根元部分23eがヘッド部25a及びワッシャとスリット状溝21fの下面との間に挟まれて締付けられ、根元部分23eが主面側から固定されるので、切削工具23の分離が防止され切削工具23の固定が確保される。
- [0051] 固定穴21gにねじ込まれる他方の固定ネジ26は、所謂イモネジであり、固定ネジ25の抜けを防止するための係止部材として機能する。この固定ネジ26は、下端を固定穴21gにあてがって上端を適当な工具でネジ回すことにより、固定穴21g内面の雌ネジと螺合して固定穴21gにねじ込まれ固定穴21g内を充填する。こうしてねじ込まれた固定ネジ26により、固定ネジ25が上端から締付けられ、固定ネジ25の緩みが防止される。以上において、固定穴21g、21hや固定ネジ25、26は、切削工具23をツール部21に固定するための固定手段となっている。
- [0052] 図4(a)及び4(b)は、切削工具23の構造及びその固定方法を説明する拡大側面図及び拡大断面図である。
- [0053] 切削工具23において、シャンク23bは、セラミックスによって形成された支持部材であり、軽量でありながら撓みにくくなっている。また、加工用チップ23cは、切れ刃を有するダイヤモンド製のチップであり、シャンク23bの先端部に活性金属法、ロウ付け等によって固定されている。シャンク23bの根元部分23eは、固定ネジ25及びワッシャ27によって、図3に示す固定部21aに設けたスリット状溝21fの下面に対して押し付けるよう締め付けられて固定される。この際、ワッシャ27は、緩衝部材として変形する環状部材であり、固定ネジ25による締め付けの応力が局所的に集中しないようにしている。ワッシャ27は、固定ネジ25による締め付け前は、図4(a)に示すように平坦な円板の中央をくりぬいた環状の部材であるが、固定ネジ25による締め付け後は、図4(b)に示すように截頭円錐の側面に対応する立体的な部材になっている。つまり、ワッシャ27は、固定ネジ25のヘッド部25a下面に設けた押圧部である座面SS1と、開口

23hの上部の周辺に形成された被押圧部である座面SS2との間に挟まれて、両座面SS1, SS2に適合するように変形している。なお、ワッシャ27は、当初から截頭円錐の側面形状とすることができる。また、シャンク23bの根元部分23eとスリット状溝21fの下面は、お互い平滑面であり、異物を除去して密着した状態に組まれる。

- [0054] なお、切削工具23の加工用チップ23cにおいて、先端のすくい面S1は、例えば60°程度の開き角 $\theta$  (図3(b) 参照)を有し、先端が円弧形状で構成されているRバイトである。ここで、すくい面S1とは、切削工具23における切削加工材料の切削に寄与する面をいう。すくい面S1の法線は、切削工具23のYZ面に平行な縦撓み振動面と平行になっており、縦撓み振動を無駄なく正確に利用した振動切削が可能になっている。また、加工用チップ23c先端に設けた切れ刃のすくい面S1先端の円弧半径は、例えば0.8mm程度で、逃げ面S2の逃げ角 $\gamma$ は、例えば5°程度である。ここで、逃げ角 $\gamma$ とは、逃げ面S2またはその延長線の切り込み点における接線と、切削点における加工面の接線が成す角度をいう。以上説明した加工用チップ23cの形状は、例示であり、特開2005-305555号公報に記載されたような、より鋭利な剣先バイト、半月バイト等の先端形状をもったチップの使用が可能である。

- [0055] シャンク23bの材料としては、軽量化や剛性確保の観点から、例えばアルミナ、窒化珪素、炭化珪素、ジルコニア等のセラミック材料が候補としてあげられ、振動減衰を低減することができる。しかし、例えばジルコニアは密度が6であり、高速度鋼より25%も軽いので、高い周波数での振動切削を実現するには効果があるが、重量の観点からは、その2/3ほどの重さの他のアルミナ、窒化珪素等のセラミックがより好ましい。さらに、シャンク23bは、熱変形を低減する観点から、線膨張係数が $5 \times 10^{-6}$ 以下の材料で形成することが望ましい。これに該当するセラミック材料としては、窒化珪素、炭化珪素等がある。なお、以上の説明で用いた線膨張係数は、シャンク23bが実際に使用される例えば0℃～50℃の温度における平均線膨張係数を指すものとする。さらに、シャンク23bは、焼結体であるセラミック材料によって形成されており、どれもHV1000以上であり、炭化珪素で形成された場合、HV2200となる。

- [0056] シャンク23bの具体的な材料としては、例えば窒化珪素を主成分とする材料すなわ

ち窒化珪素が50重量%以上含まれる材料が望ましい。具体的には、市販されている窒化珪素セラミックやサイアロン等がこれに含まれる。これらは、密度が3.3程度であり、ヤング率が270~300GPaであるので、従来タイプのシャンクの材料である高速度鋼と比較し、重量で1/2以下、ヤング率で1.3倍以上とできる。よって、窒化珪素を主成分とする材料でシャンク23bを形成することで、1kHz以上の高周波数の振動を容易に実現でき、撓みやビビリがなくかつ高効率な振動切削加工の実現にとって有利になる。

[0057] 加工用チップ23cは、ダイヤモンドに限らず、切削の対象に応じて窒化ボロン(BN)等の材料によって形成される。加工用チップ23cをセラミック材料からなるシャンク23bに固定する場合、活性金属法と呼ばれる接合方法を用いる。活性金属法を用いた場合、銀ロウ付け等と比較すると、シャンク23bに対してより強固に加工用チップ23cを接合することができる。この方法では、シャンク23bにおいて接合したい箇所に、Ag、Cu、Ti等の高温で活性な金属を含むロウ材の薄板を挟み込んで、真空雰囲気または不活性ガス雰囲気として約1000℃で数時間置くことにより、活性化した金属がセラミック材料に拡散して結合し、通常の濡れ性だけに頼るロウ付けよりも強固な結合が得られる。活性金属法としては、ロウ材の薄板を用いる方法に限らず、接合面にロウ材をスパッタや蒸着によって付着させたり、微粒子やアマルガム等のペーストを塗布させることもできる。

[0058] 固定ネジ25は、金属材料を切削加工や転造加工等することによって形成れた螺合部材である。固定ネジ25は、雄ネジ部25bの部分の加工性を確保する観点から、あまり硬度の高い材料の使用は適さない。さらに、固定ネジ25の締め付け強度を確保する観点で、固定ネジ25は、破壊靱性値を大きくし、ヤング率を一定以上に確保する必要がある。また、シャンク23bにダメージを与えない観点で、固定ネジ25は、ある程度以下(例えばシャンク23b以下)の硬度であることが望ましい。つまり、固定ネジ25は、硬度があまり大きくなり過ぎない必要がある。また、振動という観点では、支持体と同等またはそれより硬度が小さい材料で、振動切削用振動体82と同等かそれ以上に振動し易い特性を持っている材質の固定ネジ25を使用することが望ましい。そのような固定ネジ25で締結することで固定ネジ25での振動伝達のロスが少なくなり、切



削用振動体82や切削工具23の先端部まで、振動エネルギーを伝達することができ  
る。固定ネジ25の材料として、ハイス等の高強度金属材料が好適に用いられる

ワッシャ27は、シャンク23bと固定ネジ25とに挟まれて変形するという観点から、シ  
ャンク23bや固定ネジ25に比較して硬度を小さくする必要がある。具体的には、ワッ  
シャ27のビッカース硬度をHV300以下とする。さらに、ワッシャ27は、変形に際して  
破損しないような変形しやすい材料、例えば軟金属で形成されることが望ましい。こ  
れにより、ワッシャ27がシャンク23bと固定ネジ25とに挟まれて変形しやすくなり、シ  
ャンク23bの局所に応力が集中することを防止できる。ワッシャ27の具体的な材料と  
しては、Al、Cu、Pb、Ti、Sn、Zn、Ag、Au、Ni等の金属材料のいずれかを用いる  
ことができ、これらの金属材料を合金化したものの使用も可能である。また、ワッシャ2  
7の厚みとしては、0.05mm～0.5mmが望ましい。

[0059] 次に、切削工具23やツール部21の具体的実施例について説明する。環状の緩衝  
部材であるワッシャ27にはアルミニウムを、シャンク23bには窒化珪素を、固定ネジ2  
5にはクロムモリブデン鋼を、切削用振動体82或いは固定部21aである支持体には  
ハイスを用いた。ビッカース硬度は、アルミニウムがHV170、窒化珪素がHV1400、  
クロムモリブデン鋼がHV350、ハイスがHV640である。ワッシャ27の厚みは0.3m  
mである。固定ネジ25及びワッシャ27を用いシャンク23bを支持体に締結した。

[0060] なお、従来のようにワッシャ27を使用しない場合は、破壊靱性値の小さい窒化珪素  
シャンクをクロムモリブデン鋼の固定ネジで直接固定していた。すると、硬度は窒化珪  
素が圧倒的に高いにも関わらず、破壊靱性値が小さいため、固定ネジとシャンクが接触  
する座面の凹凸により生じた接触点での局所的応力集中によって、シャンクが頻繁  
に破損していた。

[0061] そこで、本実施例のように、硬度がHV170であるアルミニウムをワッシャ27として座  
面SS1、SS2間に介在させることで、座面SS1、SS2の凹凸をワッシャが変形するこ  
とで減少させ、局所的応力集中が起こらないようにした。結果、従来の2.0倍のトルク  
200cN・mで締結させることができ、切削用振動体82である支持体にシャンク23bを  
強固に固定することができた。

[0062] 図5は、図4等を示す切削工具23の変形例及びその固定方法を説明する拡大側

面図である。この切削工具23の場合、シャンク123bの根元部分23eに設けた開口123hの周辺に形成された座面SS2が平坦面になっており、これに対応して、固定ネジ125が皿ネジでなく平ネジになっている。つまり、固定ネジ125のヘッド部125a下面に設けた座面SS1も平坦面になっている。この場合、固定ネジ125の締め付けに際して用いられるワッシャ27は、座面SS1と座面SS2との間に挟まれているが、当初から両座面SS1、SS2の形状に対応した形状となっている。ただし、固定ネジ125を締め付けることにより、軟金属で形成されたワッシャ27の表面が変形し、ワッシャ27の上下面に座面SS1、SS2が密着する。これにより、ワッシャ27が固定ネジ125とシャンク123bとの間に挟まれて緩衝部材として機能し、固定ネジ125による締め付けの応力が局所的に集中することを防止できる。

[0063] 図6は、図4等を示す切削工具23の別の変形例及びその固定方法を説明する拡大断面図である。この切削工具23の場合、軟金属をコーティングされた固定ネジ225によって図3に示す固定部21aに固定される。つまり、固定ネジ225は、本体であるヘッド部25aの表面を軟金属でコーティングした層225dを付加したものとなっている。この場合、図4等を示すワッシャ27は不要であり、ヘッド部25aの下面である座面SS1と、開口23hの周辺である座面SS2との間にコーティング層225dが挟まれている。つまり、固定ネジ225の締め付けによって、コーティング層225dは、座面SS2に密着して局所的な応力集中を防止する。

[0064] なお、軟金属のコーティングした層225dの形成には、電解メッキや無電解メッキ、スパッタ、蒸着などのPVDのほか、熱CVDやプラズマCVDなどの成膜技術を利用することができる。

[0065] また、コーティング層225dは、固定ネジ225に形成するだけでなく、シャンク23b側に形成することもできる。つまり、固定ネジ225をコーティングしないで、開口23h及びその周辺をコーティングすることもできる。このような変形例においては、ワッシャを必ずしも緩衝部材として機能させる必要がなくなるとともに、ワッシャを省略することもできる。これらの場合には、メッキ層225dがシャンク23bと固定ネジ225等の締結部材との間に配置された緩衝部材として機能する。

[0066] ただし、シャンク23bにコーティング層225dを形成し、固定ネジ225の締結を繰り返す。

返すと、コーティング層225dが破損し剥がれていくため、シャンク23bの再コーティングが必要になる。その場合、加工用チップ23cに触れてしまい、チップ刃先が破損しないように、細心の注意を払い作業をする必要があり、コーティング方法によっては、コーティングしたくない加工用チップ23cまでコートしてしまう可能性がある。したがって、コーティングは固定ネジ25側に施すのが望ましい。

[0067] 次に、切削工具23やツール部21の具体的実施例について説明する。シャンク23bには窒化珪素を、固定ネジ25にはクロムモリブデン鋼を、切削用振動体82或いは固定部21aである支持体にはハイスを用いた。また、固定ネジ25の座面SS1に無電解メッキで、銅コーティングを200  $\mu$  m施した。ビッカース硬度は、窒化珪素がHV1400、クロムモリブデン鋼がHV350、ハイスがHV640、無電解銅メッキ層がHV50である。この場合は、固定ネジ座面SS1に緩衝部材の軟金属である銅をコーティングしてあるため、ワッシャ27は不要である。前述実施例と同様にシャンク23bを切削用振動体82である支持体に締結したところ、同様の従来に比較して2.0倍のトルク200cN・mで締結させることができ、振切削用動体82にシャンクを強固に固定することができた。その後、固定ネジ25を緩め、無電解銅メッキ面を観察すると、ネジ締結の際、座面同士が擦れることで発生した擦り跡が見られた。さらに、この固定ネジ25を使用しシャンク23bの着脱を繰り返したところ、5回目で130cN・mのトルクによってシャンク23bが破損した。固定ネジ25の座面SS1を観察したところ、一部コーティング層が剥がれ、下地である固定ネジ表面が見えた。そこで、実使用上は安全を見て、同じ固定ネジ25は3回使用すると新しい固定ネジに交換することとした。

[0068] 図7は、図4等を示す切削工具23の別の変形例及びその固定方法を説明する拡大断面図である。この場合、ワッシャ327が多層構造になっている。ワッシャ327は、本体層327aと、表面層327b、327cとを備える。ここで、表面層327b、327cは、軟金属で形成されるが、本体層327aはこれに比較して硬い金属材料等で形成することができる。図7に示すワッシャ327は、図4(b)に示すシャンク23bの根元部分23eとヘッド部25aとの間に挟まれて両座面SS1、SS2に密着する。これにより、ワッシャ327が緩衝部材として機能し、固定ネジ25による締め付けの応力が局所的に集中することを防止できる。なお、このようにワッシャ327が本体層327aと表面層327b、327c

といった本体材料と表面材料等とに区分けされ、その表面材料等が緩衝部材として機能する場合には、その表面材料等を構成する部分が緩衝部材の硬度となっている。

[0069] 図8は、図4等を示す切削工具23の別の變形例及びその固定方法を説明する拡大断面図である。この場合、シャンク423bの根元部分23eの厚みが變化して開口23hの上部UPの直径が大きくなっている。図示の例では、シャンク423bの厚みが先端に向かって減少しているが、シャンク423bの厚みが先端に向かって増加する場合も、同様にシャンク423bを固定ネジ25やワッシャ27によって固定することができる。

[0070] 図9は、図4等を示す切削工具23の別の變形例及びその固定方法を説明する拡大断面図である。この場合、固定ネジ525Aを固定部21aに直接締め付けて固定するのではなく、固定ネジ525Aと固定ナット525Bとによって、シャンク23bの根元部分23eを締め付けて固定部21aに固定する。この場合、固定ネジ525Aと固定ナット525Bが締結部材として機能し、さらに、ワッシャ27が固定ネジ525Aとシャンク23bの根元部分23eとの間に挟まれて緩衝部材として機能し、固定ネジ125による締め付けの応力が局所的に集中することを防止できる。

[0071] 〔第2実施形態〕

以下、本発明の第2実施形態に係る加工装置を図面を用いて説明する。図10は、レンズ等の光学素子を成形するための成形金型の光学面を加工する振動切削型の加工装置の構造を概念的に説明するブロック図である。

[0072] 図10に示すように、加工装置10は、被加工体であるワークWを切削加工するための振動切削ユニット20と、振動切削ユニット20をワークWに対して支持するNC駆動機構30と、NC駆動機構30の動作を制御する駆動制御装置40と、振動切削ユニット20に所望の振動を与える振動子駆動装置50と、振動切削ユニット20に冷却用のガスを供給するガス供給装置60と、装置全体の動作を統括的に制御する主制御装置70とを備える。

[0073] 振動切削ユニット20は、Z軸方向に延びるツール部21先端に切削工具23を埋め込んだ振動切削工具であり、この切削工具23の高周波振動によってワークWを効率良く切削する。振動切削ユニット20は、第1実施形態で説明した構造を有する。

- [0074] NC駆動機構30は、台座31上に第1ステージ32と第2ステージ33とを載置した構造の駆動装置である。ここで、第1ステージ32は、第1可動部35を支持しており、この第1可動部35は、チャック37を介してワークWを間接的に支持している。第1ステージ32は、ワークWを、例えばZ軸方向に沿った所望の位置に所望の速度で移動させることができる。また、第1可動部35は、ワークWをZ軸に平行な水平回転軸RAのまわりに所望の速度で回転させることができる。一方、第2ステージ33は、第2可動部36を支持しており、この第2可動部36は、振動切削ユニット20を支持している。第2ステージ33は、第2可動部36及び振動切削ユニット20を支持して、これらを例えばX軸方向やY軸方向に沿った所望の位置に所望の速度で移動させることができる。また、第2可動部36は、振動切削ユニット20を、Y軸に平行な鉛直回転軸PXのまわりに所望の角度量だけ所望の速度で回転させることができる。特に、第2可動部36に対する振動切削ユニット20の固定位置や角度等を適宜調節して、振動切削ユニット20の先端点を鉛直回転軸PX上に配置することにより、振動切削ユニット20をその先端点のまわりに所望の角度だけ回転させることができる。
- [0075] なお、以上のNC駆動機構30において、第1ステージ32と第1可動部35とは、ワークWを駆動する被加工体駆動部を構成し、第2ステージ33と第2可動部36とは、振動切削ユニット20を駆動する工具駆動部を構成する。
- [0076] 駆動制御装置40は、高精度の数値制御を可能にするものであり、NC駆動機構30に内蔵されたモータや位置センサ等を主制御装置70の制御下で駆動することによって、第1及び第2ステージ32, 33や、第1及び第2可動部35, 36を目的とする状態に適宜動作させる。例えば、第1及び第2ステージ32, 33によって、振動切削ユニット20のツール部21先端に設けた切削工具23先端の加工点を低速でXZ面に平行な面内に設定した所定の軌跡に沿ってワークWに対して相対的に移動(送り動作)させつつ、第1可動部35によって、ワークWを水平回転軸RAのまわりに高速で回転させることができる。結果的に、駆動制御装置40の制御下で、NC駆動機構30を高精度の旋盤として活用することができる。この際、第2可動部36によって、切削工具23先端に対応する加工点を中心として、切削工具23先端を鉛直回転軸PXのまわりに適宜回転させることができ、ワークWの被加工点に対して切削工具23先端を所望の姿勢

(傾き)に設定することができる。

- [0077] 振動子駆動装置50は、振動切削ユニット20に内蔵された振動源に電力を供給するためのものであり、内蔵する発振回路やPLL回路によって、ツール部21先端を主制御装置70の制御下で所望の振動数及び振幅で振動させることができる。なお、ツール部21先端は、軸(すなわち切り込み深さ方向に延びる工具軸AX)に垂直な撓み振動や軸に沿った軸方向振動が可能になっており、その2次元的な振動や3次元的な振動によってワークW表面にツール部21先端すなわち切削工具23を向けた微細で効率的な加工が可能になっている。
- [0078] ガス供給装置60は、振動切削ユニット20を冷却するためのものであり、加圧された乾燥空気を供給するガス状流体源61と、ガス状流体源61からの加圧乾燥空気を通過させることによってその温度を調節する温度調整手段としての温度調節部63と、温度調節部63を通過した加圧乾燥空気の流量調節を行う流量調整手段としての流量調節部65とを備える。ここで、ガス状流体源61は、例えば熱的工程やデシケータ等を利用した乾燥機に空気を送り込むことによって空気を乾燥させ、コンプレッサで乾燥空気を所望の気圧まで昇圧させる。また、温度調節部63は、図示を省略するが、例えば冷媒を周囲に循環させた流路と、この流路の途中に設けた温度センサとを有し、冷媒の温度や供給量の調節によって、流路に通した加圧乾燥空気を所望の温度に調節することができる。さらに、流量調節部65は、例えばバルブやフローコントローラ(不図示)を有し、温度調節された加圧乾燥空気を振動切削ユニット20に供給する際の流量を調節することができるようになっている。
- [0079] 図11は、図10に示す加工装置10を用いたワークWの加工を説明する拡大平面図である。ツール部21先端の固定部21aは、既に説明したように例えばYZ面内で高速振動する。また、固定部21aは、図10のNC駆動機構30によって、被加工体であるワークWに対し、例えばXZ面内で所定の軌跡を描いて徐々に移動する。つまり、ツール部21の送り動作が行われる。また、被加工体であるワークWは、図10のNC駆動機構30によって、Z軸に平行な回転軸RAのまわりに一定速度で回転する(図10参照)。これにより、ワークWの旋削加工が可能になり、ワークWに対し回転軸RAのまわりに回転対称な例えば被加工面SA(例えば、凹凸の球面、非球面等の曲面のほ

か、位相素子面等の段差面)を形成することができる。この際、第2ステージ33を利用して、ツール部21の切削工具23の先端をY軸方向に平行な旋回軸PXのまわりに回転させることで、切削工具23先端の振動面(楕円軌道EO)がワークWに形成すべき被加工面SAに対して略垂直になるようにする。これにより、切削工具23の刃先の加工点を加工中略1点に維持でき、加工点への効率良い振動伝達と刃先形状に依存しない高精度な振動切削が実現できるので、被加工面SAの加工精度を高め、被加工面SAをより滑らかなものとすることができる。また、ワークWの加工中、ツール部21先端の開口95aから切削工具23の先端に向けて加圧乾燥空気を高速で射出させるので、切削工具23や被加工面SAを効率良く冷却することができるだけでなく、切削工具23や被加工面SAの温度を加圧乾燥空気の温度と流量とによって一定範囲に収まるようにすることも可能である。この加圧乾燥空気は、ツール部21の軸心を貫通する貫通孔95を介して導入され、切削用振動体82、軸方向振動子83、カウンタバランス85等の内部を流れるので、切削用振動体82等の温度を加圧乾燥空気の温度と流量とによって調整することができる。このように、加圧乾燥空気の温度を調整することにより、切削用振動体82の温度を安定させることができ、高精度で再現性の高い切削加工面が得られる。

[0080] 〔第3実施形態〕

以下、第3実施形態に係る成形金型について説明する。図12は、第1実施形態の振動切削ユニット20を用いて作製した成形金型(光学素子用成型金型)を説明する図であり、図12(a)は、固定型すなわち第1金型2Aの側方断面図であり、図12(b)は、可動型すなわち第2金型2Bの側方断面図である。両金型2A, 2Bの光学面3a, 3bは、図10等を示す加工装置10によって仕上げ加工されたものである。つまり、両金型2A, 2Bの母材(材料は例えば超硬)をワークWとしてチャック37に固定し、振動子駆動装置50等を動作させて振動切削ユニット20に定在波を形成しつつ切削工具23を高速振動させる。これと並行して駆動制御装置40を適宜動作させて、振動切削ユニット20のツール部21先端をワークWに対して3次元的に任意に移動させる。これにより、金型2A, 2Bの転写光学面3a, 3bを、球面や非球面に限らず、段差面、位相構造面、回折構造面とすることができる。

- [0081] 図13は、図12(a)の金型2Aと、図12(b)の金型2Bとを用いてプレス成形したレンズLの断面図である。図示していないが、金型2A、2Bの光学面3a、3bが段差面、位相構造面、回折構造面等を有する場合、レンズLの成形光学面も、段差面、位相構造面、回折構造面等を有するものとなる。さらに、レンズLの材料は、プラスチックに限らず、ガラス等とすることができる。なお、レンズLを第2実施形態の加工装置10によって直接作製することもできる。
- [0082] 以下、図4等を示す切削工具23等を備える振動切削ユニット20や、このような振動切削ユニット20を組み込んだ図10に示す加工装置10を用いた具体的な加工実施例について説明する。
- [0083] 窒化珪素製のシャンク23bを使用し単結晶ダイヤモンド製の加工用チップ23cを設けた切削工具23を、楕円振動型の振動切削ユニット20のツール部21先端の固定部21aに、図4のように固定ネジ25とアルミニウム製のワッシャ27とを利用して締結した。ワッシャ27の寸法は、内径4.3mm、外径9.0mm、厚み0.4mmである。
- [0084] なお、従来は、窒化珪素製のシャンク23bを固定する際にワッシャ27を使用していなかったため、切削工具23を強固に固定するために必要な180cN・m程度のトルクで締結しようとする、シャンク23bが破損してしまっていた。
- [0085] そこで、本実施例では、前述のワッシャ27を使い、180cN・mのトルクで切削工具23を締結したところ、20回の工具脱着の繰り返しによってもシャンク23bが全く破損せず、切削工具23を強固に固定することができた。ワッシャ27の有無が加工面に及ぼす影響を検証するため、従来のようにワッシャ27無しで切削工具23を固定した場合と、本実施例のワッシャ27有りで切削工具23を固定した場合とで加工面の状態を比較した。結果については後述する。
- [0086] 実際の加工では、図10に示す加工装置10すなわち超精密旋盤を用いて振動切削を行い、金型の製作を行った。図10に示すとおり、台座31上には、ワークWをZ軸方向に駆動するための第1ステージ32と、振動切削ユニット20をX軸方向に駆動するための第2ステージ33とが取り付けられている。Z軸用の第1ステージ32には、ワークWを回転駆動する第1可動部35が取り付けられ、X軸用の第2ステージ33には、振動切削ユニット20を移動させる第2可動部36が取り付けられている。振動切削ユニッ



ト20のツール部21先端は、その回転軸PX上に固定されている。

- [0087] 切削に使用する切削工具23の加工用チップ23aは、先端のすくい面S1の開き角が $60^\circ$ で、先端が円弧形状に構成されているRバイトである。加工用チップ23aの先端に設けた切れ刃のすくい面S1先端の円弧半径は0.8mm、逃げ面の逃げ角度 $\gamma$ は $10^\circ$ であり、すくい面S1が切り込み点において成す角度は $-15^\circ$ で、この時の切り込み量は $2\mu\text{m}$ である。本実施例の振動切削では、切削工具23を軸方向及び撓み方向にそれぞれ振動させ、加工用チップ23a先端の刃先軌跡は円運動もしくは楕円運動を行うものとした。その結果、すくい面S1ですくい上げるように切削できるため、通常の振動切削ではない加工に比べ、延性モード切削であっても切込量を数倍大きくとることができた。
- [0088] 本実施例においては、切削工具23の固定状態の違いによる加工面の差を簡単に比較するため、加工形状は平面とした。加工物すなわちワークWの材料には、タンガロイ社製のマイクロアロイF(硬度HV=1850)を用いた。
- [0089] まず、従来の方法でワッシャ27を使わずに切削工具23を固定し楕円振動切削を行って、WYKO社製の表面粗さ測定器HD3300を使用して光学面粗さを測定したところ、平均表面粗さがRa7.3nmとなった。また、加工後のワークW表面を微分干渉顕微鏡で観察したところ、加工面には、切削工具23のビビリによる刃先痕が見られた。一方、上述した本実施例による方法で切削工具23を固定し、楕円振動切削を行ったところ、平均表面粗さがRa3.4nmに改善され良好な光学鏡面(転写光学面)が得られた。また、加工後のワークW表面を微分干渉顕微鏡で観察したところ、加工面に切削工具23のビビリ模様は見られなかった。このことから、従来の工具固定方法では、シャンク23bを破損させないように固定していたため、切削工具23が強固には固定されておらず、本発明の手法を用いることで、切削工具23を強固に固定することができ、加工面のビビリも無くすることができることが分かった。
- [0090] 以上、実施形態に即して本発明を説明したが、本発明は、上記実施形態に限定されるものではない。例えば、振動切削ユニット20において、切削用振動体82や軸方向振動子83の全体的形状や寸法は、用途に応じて適宜変更することができる。また、切削用振動体82等を支持するための保持部材82b、82cの形状、配置、個数等は

適宜変更することができる。

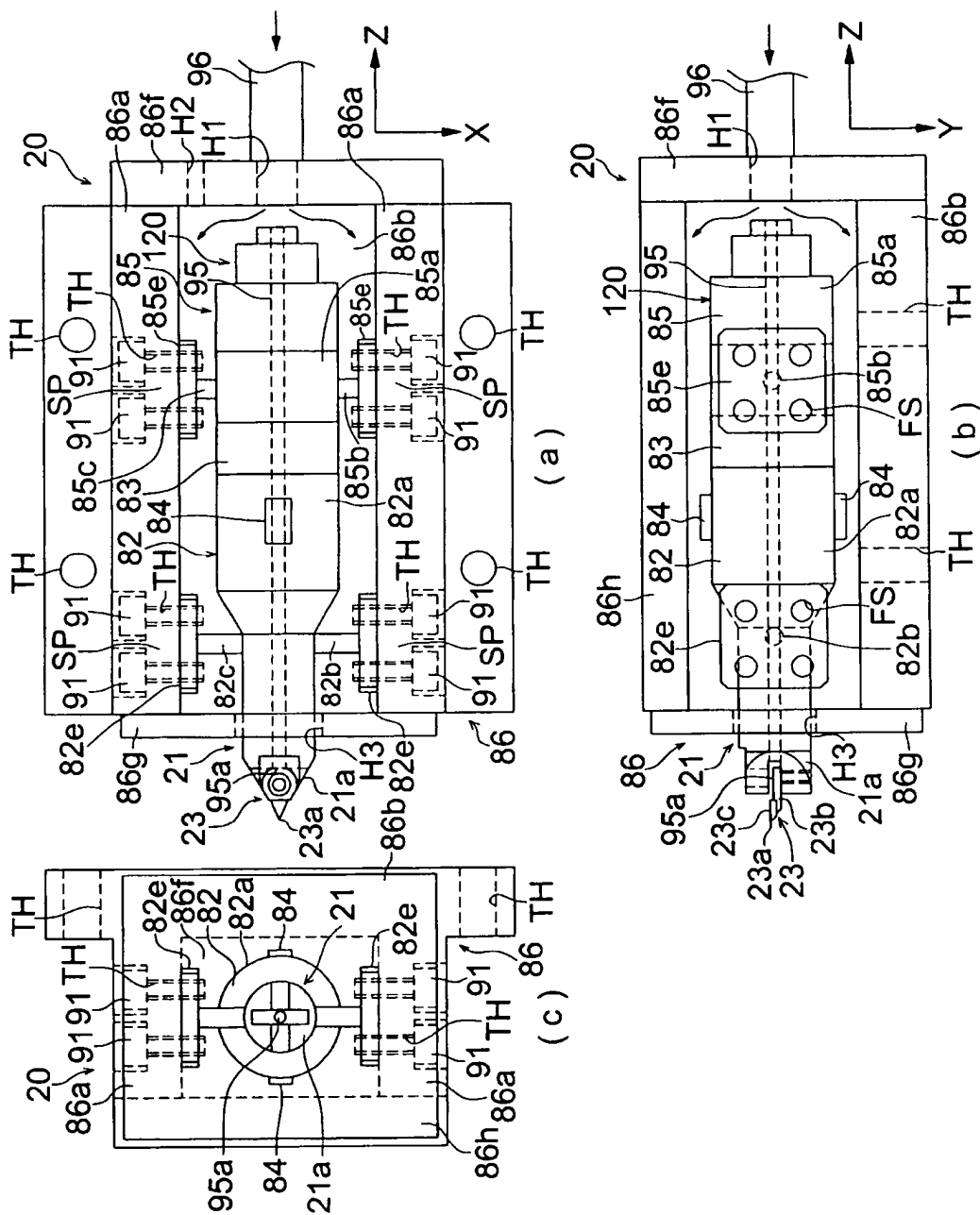
- [0091] また、振動切削ユニット20があまり加熱されない場合、切削用振動体82の寸法変化を気にしなくても良くなるので、加圧乾燥空気の供給は不要である。また、図9のガス供給装置60において、空気ではなく、オイルその他の潤滑要素等をミスト化した溶媒や粒子として添加したガス状流体や、窒素ガス等の不活性ガス等を用いることができる。
- [0092] また、振動体組立体120を構成する振動体82は、上記実施形態のように1つである必要はなく、また、このような振動体を励振する振動子は、複数または複数対あってもよい。
- [0093] また、以上の振動切削装置では、主に旋削について説明したが、図1に示す振動切削ユニット20や加工装置10をルーリング加工用に改変することもできる。

## 請求の範囲

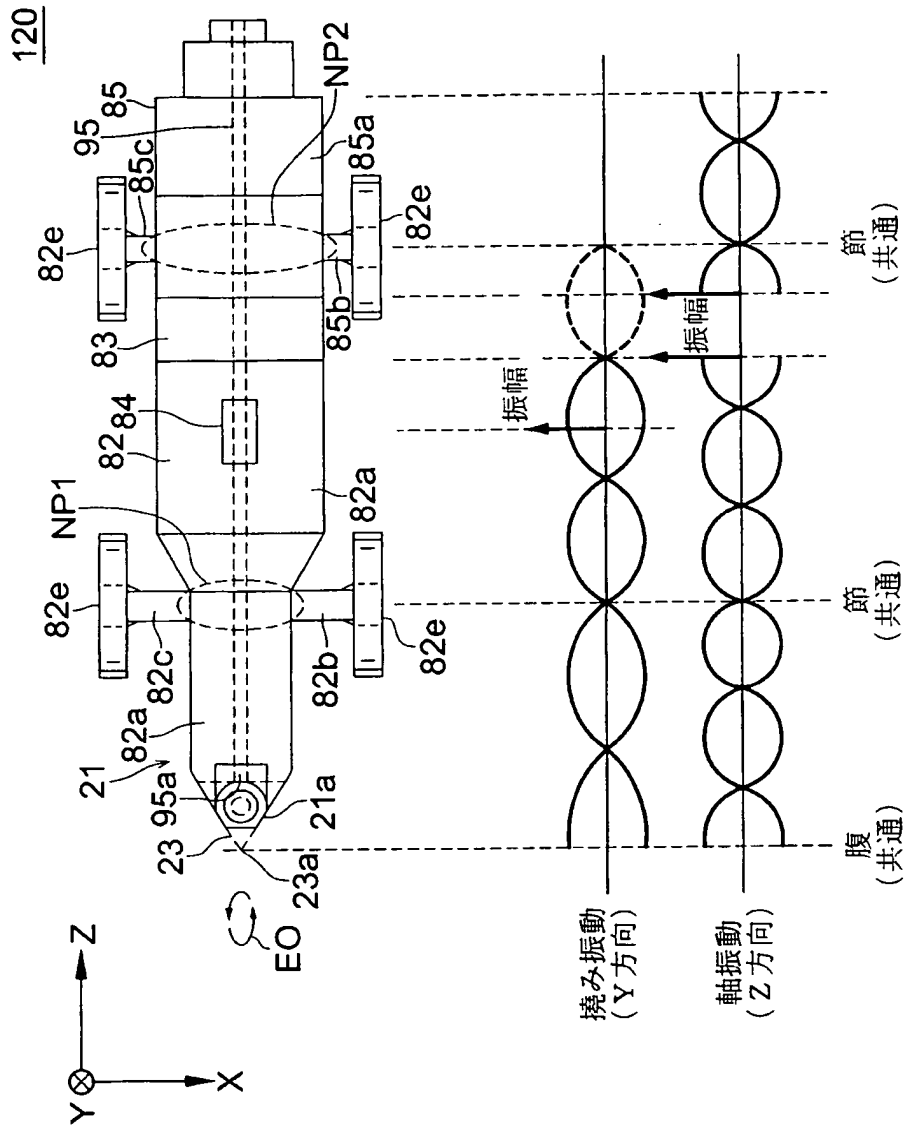
- [1] 切れ刃を有するチップと、当該チップを保持するセラミック製のシャンクとを有する振動切削用の切削工具と、  
前記切削工具の前記シャンクを支持するとともに前記切削工具に対して振動を伝達するための支持体と、  
前記切削工具を前記支持体に締め付けて固定する締結部材と、  
前記シャンクと前記締結部材のヘッド部との間に、前記シャンクの本体材料よりも硬度が小さく且つ前記締結部材の本体材料よりも硬度が小さい材料で形成された緩衝部材と、を備えることを特徴とする切削装置。
- [2] 前記締結部材は、雄ネジ状の螺合部材であり、前記緩衝部材は、環状部材であることを特徴とする請求の範囲第1項に記載の切削装置。
- [3] 前記緩衝部材は、前記締結部材の押圧部の形状に対応した形状をあらかじめ形成されていることを特徴とする請求の範囲第1項又は請求の範囲第2項に記載の切削装置。
- [4] 前記緩衝部材は、前記締結部材の押圧部の形状に対応する形状に変形可能であることを特徴とする請求の範囲第1項又は請求の範囲第2項に記載の切削装置。
- [5] 前記緩衝部材は、表面において軟金属を含む材料で形成されていることを特徴とする請求の範囲第1項から請求の範囲第4項のいずれか一項記載の切削装置。
- [6] 前記締結部材の本体材料の硬度は、前記支持体の硬度よりも小さいことを特徴とする請求の範囲第1項から請求の範囲第5項のいずれか一項記載の切削装置。
- [7] 前記緩衝部材を構成する軟金属は、Al、Cu、Pb、Ti、Sn、Zn、Ag、Au、及びNiからなる群から選択される少なくとも1つの元素を含むことを特徴とする請求の範囲第1項から請求の範囲第6項のいずれか一項記載の切削装置。
- [8] 前記緩衝部材は、HV300以下のビッカース硬度を有していることを特徴とする請求の範囲第1項から請求の範囲第7項のいずれか一項記載の切削装置。
- [9] 前記緩衝部材は、前記ヘッド部上あるいは前記シャンク上のコーティング層であることを特徴とする請求の範囲第1項から請求の範囲第8項のいずれか一項記載の切削装置。

- [10] 前記支持体は、切削工具に対して撓み振動と軸方向振動とを伝達するための振動体本体を構成することを特徴とする請求の範囲第1項から請求の範囲第9項のいずれか一項記載の切削装置。
- [11] 前記振動体本体に振動を与えることによって当該振動体本体を介して前記切削工具を振動させる振動源をさらに備えることを特徴とする請求の範囲第10項に記載の切削装置。
- [12] 請求の範囲第1項から請求の範囲第11項のいずれか一項記載の切削装置と、前記切削装置を動作させつつ変位させる駆動装置と、を備えることを特徴とする加工装置。
- [13] 請求の範囲第1項から請求の範囲第11項のいずれか一項記載の切削装置を用いて加工創製された、光学素子の光学面を成形するための転写光学面を有することを特徴とする成形金型。
- [14] 請求の範囲第1項から請求の範囲第11項のいずれか一項記載の切削装置を用いて加工創製されることを特徴とする光学素子。
- [15] 請求の範囲第1項から請求の範囲第11項のいずれか一項記載の切削装置に振動を与えて切削することを特徴とする切削方法。

[図1]

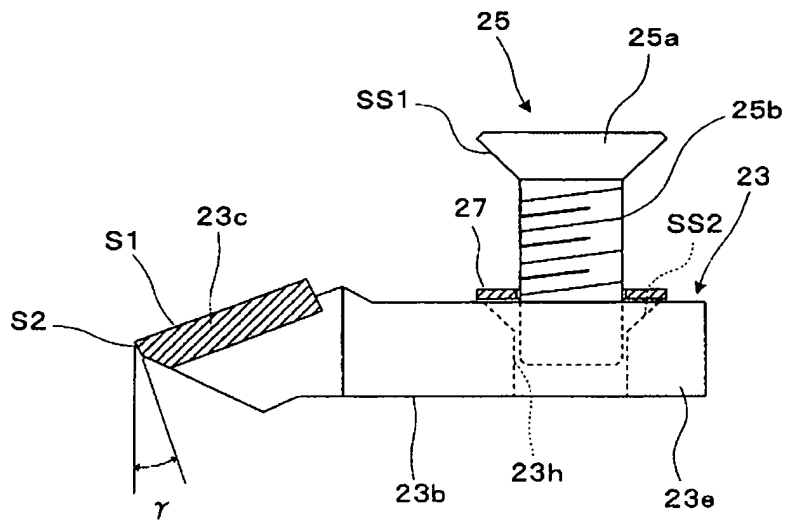


[図2]

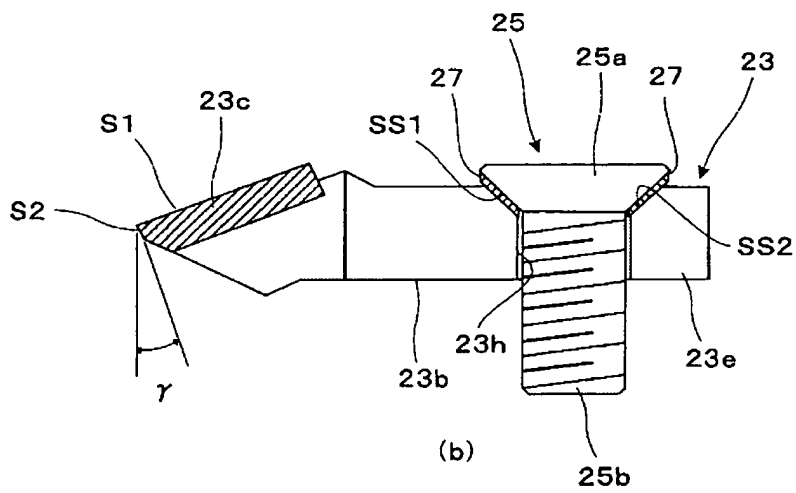




[図4]

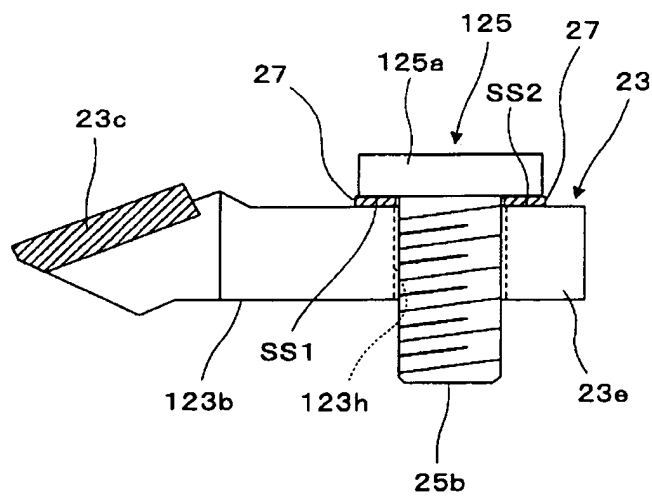


(a)



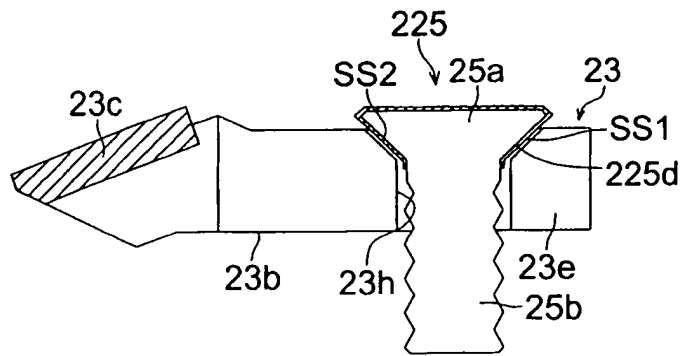
(b)

[図5]

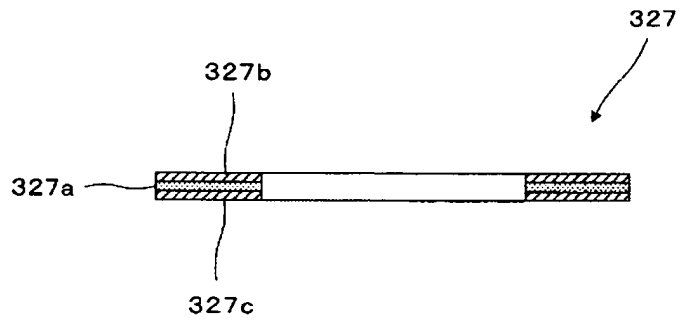




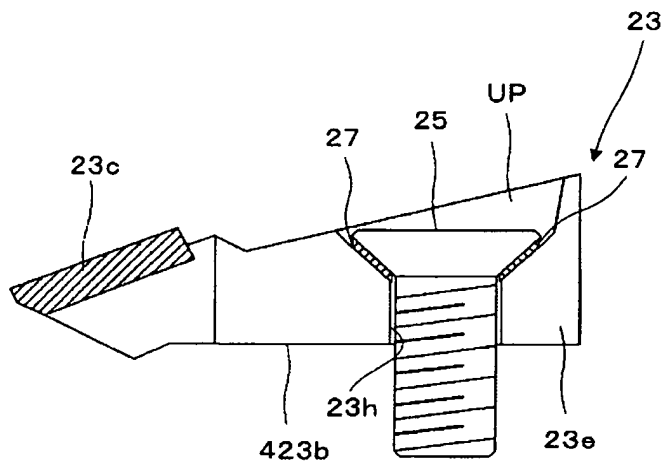
[図6]



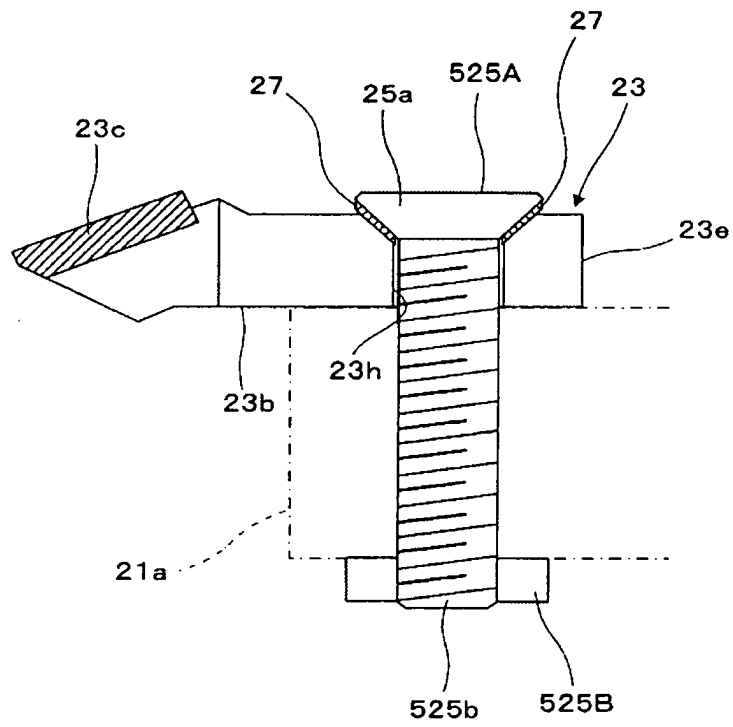
[図7]



[図8]

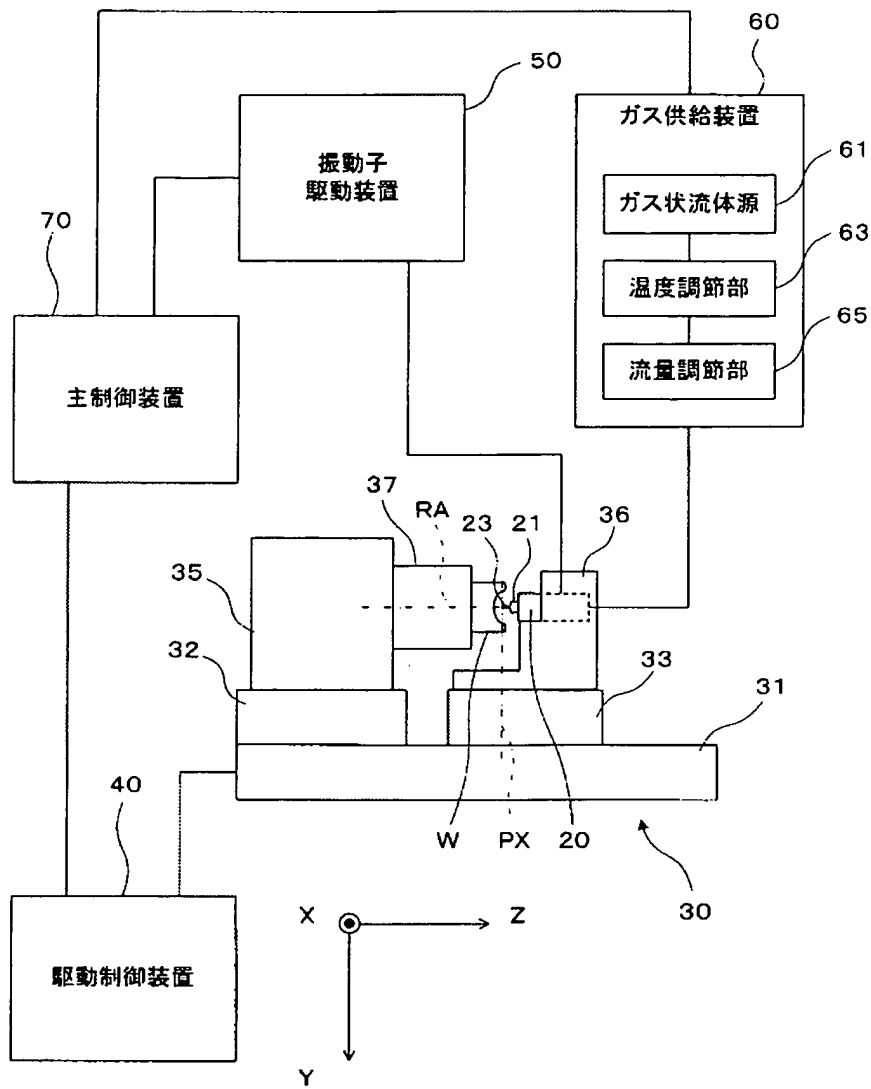


[図9]

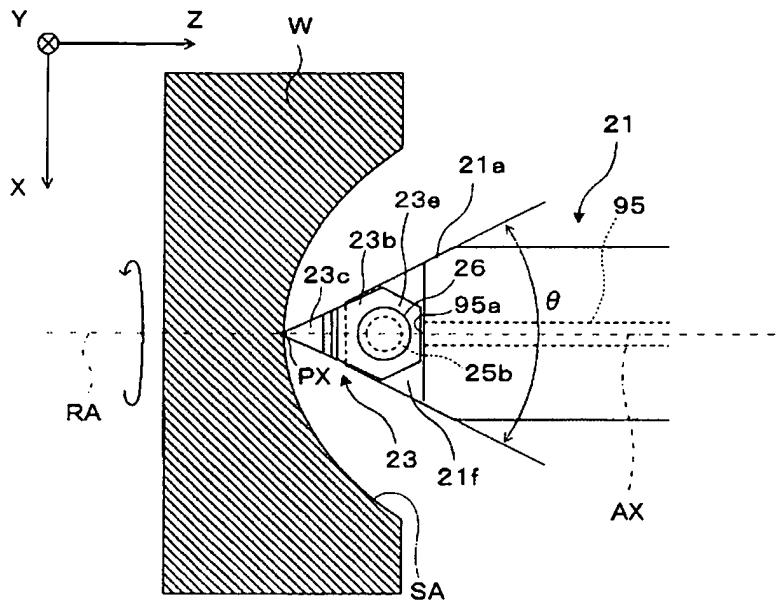


[図10]

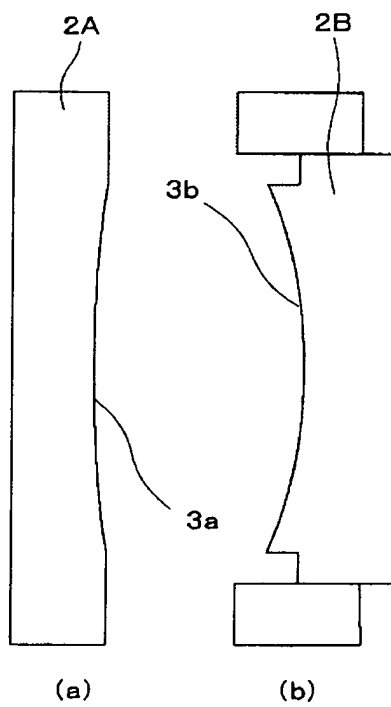
10



[図11]



[図12]



[図13]



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2007/055512

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> B23B29/12(2006.01) i, B23B1/00(2006.01) i				
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC				
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>				
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) B23B29/12, B23B1/00				
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2007 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2007 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2007				
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)				
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>				
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.		
A	JP 2-198705 A (Nippon Pneumatic Mfg. Co., Ltd.), 07 August, 1990 (07.08.90), Full text; all drawings (Family: none)	1-15		
A	JP 1-159104 A (Nippon Pneumatic Mfg. Co., Ltd.), 22 June, 1989 (22.06.89), Full text; all drawings (Family: none)	1-15		
P, A	JP 2006-334732 A (Konica Minolta Opto, Inc.), 14 December, 2006 (14.12.06), Full text; all drawings (Family: none)	1-15		
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.				
<table border="0"> <tr> <td>           * Special categories of cited documents:            "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance            "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date            "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)            "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means            "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed         </td> <td>           "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention            "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone            "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art            "&amp;" document member of the same patent family         </td> </tr> </table>			* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family			
Date of the actual completion of the international search 16 April, 2007 (16.04.07)		Date of mailing of the international search report 24 April, 2007 (24.04.07)		
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer		
Facsimile No.		Telephone No.		

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2007/055512

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, A	JP 2007-44785 A (Konica Minolta Opto, Inc.), 22 February, 2007 (22.02.07), Full text; all drawings (Family: none)	1-15

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. B23B29/12(2006.01)i, B23B1/00(2006.01)i			
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. B23B29/12, B23B1/00			
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2007年 日本国実用新案登録公報 1996-2007年 日本国登録実用新案公報 1994-2007年			
国際調査で使用了電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)			
C. 関連すると認められる文献			
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号	
A	JP 2-198705 A (日本ニューマチック工業株式会社) 1990.08.07, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-15	
A	JP 1-159104 A (日本ニューマチック工業株式会社) 1989.06.22, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-15	
P, A	JP 2006-334732 A (コニカミノルタオプト株式会社) 2006.12.14, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-15	
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。			
* 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日後に公表されたもの 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願 の日の後に公表された文献 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」同一パテントファミリー文献			
国際調査を完了した日 16.04.2007		国際調査報告の発送日 24.04.2007	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 中村 泰二郎	3C 3215
		電話番号 03-3581-1101 内線	3324



C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
P, A	JP 2007-44785 A (コニカミノルタオプト株式会社) 2007.02.22, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-15